

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP2005/023495

International filing date: 21 December 2005 (21.12.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-381574
Filing date: 28 December 2004 (28.12.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 09 February 2006 (09.02.2006)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2 0 0 4 年 1 2 月 2 8 日

出 願 番 号
Application Number: 特 願 2 0 0 4 - 3 8 1 5 7 4

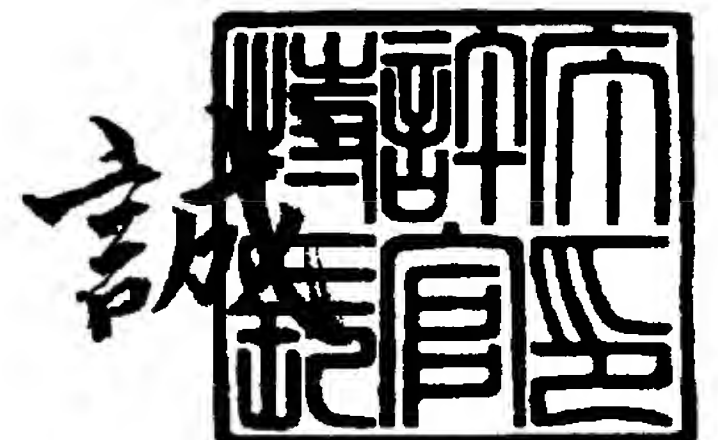
パリ条約による外国への出願
に用いる優先権の主張の基礎
となる出願の国コードと出願
番号
J P 2 0 0 4 - 3 8 1 5 7 4
The country code and number
of your priority application,
to be used for filing abroad
under the Paris Convention, is

出 願 人
Applicant(s): 松下電器産業株式会社

2 0 0 6 年 1 月 3 0 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

中 嶋



【書類名】特許願

【整理番号】2047560118

【提出日】平成16年12月28日

【あて先】特許庁長官 殿

【国際特許分類】H01L 21/20

H01L 21/331

【発明者】

【住所又は居所】大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】齋藤 徹

【発明者】

【住所又は居所】大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】川島 孝啓

【特許出願人】

【識別番号】000005821

【氏名又は名称】松下電器産業株式会社

【代理人】

【識別番号】100101683

【弁理士】

【氏名又は名称】奥田 誠司

【手数料の表示】

【予納台帳番号】082969

【納付金額】16,000円

【提出物件の目録】

【物件名】特許請求の範囲 1

【物件名】明細書 1

【物件名】図面 1

【物件名】要約書 1

【包括委任状番号】0011136

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

複数のコンタクト領域と、前記複数のコンタクト領域に接続された少なくとも 1 つのチャネル領域とを含むナノワイヤであって、

前記チャネル領域は半導体材料から形成されており、かつ前記チャネル領域の表面は絶縁層によって被覆されており、

前記複数のコンタクト領域の各々は前記チャネル領域の半導体材料とは異なる半導体材料から形成され、前記チャネル領域の表面は少なくとも導電部分を有しているナノワイヤ。

【請求項 2】

前記絶縁層は、前記半導体材料の酸化物から形成されている請求項 1 に記載のナノワイヤ。

【請求項 3】

前記コンタクト領域の導電部分は、前記半導体材料を構成する元素と金属元素とが結合した合金から形成されている請求項 1 または 2 に記載のナノワイヤ。

【請求項 4】

前記コンタクト領域の導電部分は、前記半導体材料とは異なる半導体材料を構成する元素と金属元素とが結合した合金から形成されている、請求項 1 から 3 のいずれかに記載のナノワイヤ。

【請求項 5】

前記コンタクト領域は、前記導電部分に含まれる金属と結合している元素から構成された半導体材料からなるコア部分を有している、請求項 3 または 4 に記載のナノワイヤ。

【請求項 6】

前記合金は、シリコンの金属化合物またはゲルマニウムの金属化合物である請求項 4 または 5 に記載のナノワイヤ。

【請求項 7】

前記コンタクト領域の個数は、 N 個 (N は 3 以上の整数) であり、

前記チャネル領域の個数は、 M 個 (M は $N - 1$) である、請求項 1 に記載のナノワイヤ。

【請求項 8】

前記コンタクト領域および前記チャネル領域は、長軸方向に沿って所定のピッチで交互に配列されている、請求項 7 に記載のナノワイヤ。

【請求項 9】

前記ナノワイヤは一对の電極間に配置され、前記一对の電極の各々の電極と前記ナノワイヤの前記コンタクト領域の少なくとも一部とは電氣的に接合されており、

前記各チャネル領域の長さを L_{ch} 、前記一对の電極間隔を L_{SD} 、コンタクト領域の長さを L_{cont} 、前記一对の電極の一方のチャネル長方向の長さを L_S 、他方の電極のチャネル長方向の長さを L_D とするとき、(式 1) ~ (式 3) の関係を満足する請求項 7 に記載のナノワイヤ。

$$L_S > L_{ch} \quad (\text{式 1})$$

$$L_D > L_{ch} \quad (\text{式 2})$$

$$L_{SD} > L_{cont} \quad (\text{式 3})$$

【請求項 10】

半導体から形成されたナノワイヤ素材を用意する工程 (A) と、

前記ナノワイヤ素材のうち、コンタクト領域として機能させるべき第 1 領域以外の第 2 領域の表面に絶縁層を形成する工程 (B) と、

前記ナノワイヤ素材における前記第 1 領域の表面を合金化することにより、前記コンタクト領域を形成する工程 (C) と、
を含む、ナノワイヤの製造方法。

【請求項 11】

前記工程（A）は、

第1の結晶成長条件で前記第1領域を成長させる工程（a1）と、

前記第1の結晶成長条件とは異なる第2の結晶成長条件で前記第2領域を成長させる工程（a2）と、

を含む請求項11に記載の製造方法。

【請求項12】

前記工程（B）は、

前記ナノワイヤ素材における前記第1および第2領域の表面を酸化することによって前記表面上に酸化膜を形成する工程（b1）と、

前記酸化膜のうち前記第1領域の表面に形成された部分を選択的に除去することにより、前記第2領域の表面に前記酸化膜の一部を残存させる工程（b2）と、

を含む請求項10または11に記載の製造方法。

【請求項13】

前記工程（C）は、

前記ナノワイヤ素材における前記第1および第2領域の表面を覆う金属層を形成する工程（c1）と、

前記金属層と前記第1領域の表面とが接触する部分で合金化を行なう工程（c2）と、

前記金属層のうち合金化しなかった部分を選択的に除去する工程（c3）と、

を含む、請求項12に記載の製造方法。

【請求項14】

少なくとも1本のナノワイヤと、前記ナノワイヤと電氣的に接続された複数の電極とを備えた電子素子であって、

各ナノワイヤは、前記複数の電極のいずれかに接触する2つのコンタクト領域を含む複数のコンタクト領域と、前記複数のコンタクト領域に接続された少なくとも1つのチャネル領域とを含み、

前記チャネル領域は、半導体材料から形成されており、

前記複数のコンタクト領域の各々は、前記半導体材料とは異なる材料から形成された導電部分を少なくとも表面に有している、電子素子。

【請求項15】

前記チャネル領域から絶縁され、前記チャネル領域に電界を及ぼすゲート電極を更に備える、請求項16に記載の電子素子。

【請求項16】

請求項14または15に記載された複数の電子素子と、

前記電極を接続する配線と、

前記複数の電子素子および配線を支持する基板と、

を備える電子機器。

【請求項17】

前記複数の電子素子の各々に含まれる前記ナノワイヤは、前記基板上において、一定の方向に配向している、請求項1に記載の電子機器。

【請求項18】

請求項1から9のいずれかに記載の複数のナノワイヤが分散された溶媒を用意する工程と、

前記溶媒を基板上に塗布する工程と、

前記溶媒に含まれていた前記複数のナノワイヤの少なくとも1つにおける前記コンタクト領域を電極に接触させる工程と、

を含む電子機器の製造方法。

【請求項19】

前記溶媒を基板上に塗布する工程は、前記溶媒に分散されていた複数のナノワイヤを一定の方向に配向させる工程を含む、請求項18に記載の製造方法。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体ナノワイヤ、および当該ナノワイヤを備えた半導体装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体ナノワイヤに関し、特に低抵抗コンタクト実現に適した新規な構造を有する半導体ナノワイヤと、この半導体ナノワイヤを備えた半導体装置に関する。

【背景技術】

【0002】

ナノテクノロジーの分野では、ナノメートルオーダーの直径を有するワイヤ（ナノワイヤ）やチューブ（ナノチューブ）の研究が活発に進められている。なかでも、自己組織化によって形成された半導体ナノワイヤをチャネル領域に用いるトランジスタが注目されている。半導体ナノワイヤは、結晶成長の触媒として機能する金属微粒子を基板上に形成した後、例えばVLS機構によって基板上に成長させられる（特許文献1など）。このため、実用的なトランジスタ回路を基板上に集積するには、目的とする位置に半導体ナノワイヤを成長させることが必要になる。

【0003】

一方、別の基板上に成長させたSiナノワイヤを溶媒中に分散し、その溶媒をプラスチック基板上に塗布することにより、Siナノワイヤの薄膜トランジスタをプラスチック基板上に形成する技術が報告されている（非特許文献1）。

【特許文献1】 特表2004-507104号公報

【非特許文献1】 "High-performance thin-film transistors using semiconductor nanowires and nanoribbons", Nature, vol.425, 18 September 2003, pp. 274-278.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献1に開示されている技術では、VLS機構による結晶成長に必要な温度（820～1150℃程度）に耐える成長基板を回路基板として用いる必要がある。このため、プラスチック基板を成長基板として用いることはできず、半導体ナノワイヤを用いた薄膜トランジスタをプラスチック基板上に形成することは困難である。

【0005】

一方、非特許文献1に開示されている技術では、ナノワイヤの成長基板と塗布基板とを異なる材料から形成することができるため、プラスチック基板上にもナノワイヤを用いた薄膜トランジスタを形成することが可能になる。

【0006】

しかし、塗布基板上でナノワイヤとソース・ドレイン電極と電気的コンタクトをとることが難しいと考えられる。ナノワイヤとソース・ドレイン電極との接触面積は小さく、また、プラスチック基板は、コンタクト抵抗低減に必要な熱処理にも耐えられないという問題があるからである。

【0007】

本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、その主たる目的は、コンタクト抵抗低減に適した新規な構造を有するナノワイヤを提供することにある。

【0008】

本発明の他の目的は、アライメントの容易なナノワイヤを提供することにある。

【0009】

本発明の更に他の目的は、上記ナノワイヤを備える半導体装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明のナノワイヤは、複数のコンタクト領域と、前記複数のコンタクト領域に接続された少なくとも1つのチャネル領域とを含むナノワイヤであって、前記チャネル領域は、

半導体材料から形成されており、前記複数のコンタクト領域の各々は、前記半導体材料とは異なる材料から形成された導電部分を少なくとも表面に有している。

【0011】

好ましい実施形態において、前記チャネル領域の表面は、絶縁層によって被覆されている。

【0012】

好ましい実施形態において、前記絶縁層は、前記半導体材料の酸化物から形成されている。

【0013】

好ましい実施形態において、前記コンタクト領域の導電部分は、前記半導体材料を構成する元素と金属元素とが結合した合金から形成されている。

【0014】

好ましい実施形態において、前記コンタクト領域の導電部分は、前記半導体材料とは異なる半導体材料を構成する元素と金属元素とが結合した合金から形成されている。

【0015】

好ましい実施形態において、前記コンタクト領域は、前記導電部分に含まれる金属と結合している元素から構成された半導体材料からなるコア部分を有している。

【0016】

好ましい実施形態において、前記合金は、シリコンの金属化合物またはゲルマニウムの金属化合物である。

【0017】

好ましい実施形態において、前記コンタクト領域の個数は、 N 個（ N は3以上の整数）であり、前記チャネル領域の個数は、 M 個（ M は $N-1$ ）である。

【0018】

好ましい実施形態において、前記コンタクト領域および前記チャネル領域は、長軸方向に沿って所定のピッチで交互に配列されている。

【0019】

本発明によるナノワイヤの製造方法は、半導体から形成されたナノワイヤ素材を用意する工程（A）と、前記ナノワイヤ素材のうち、コンタクト領域として機能させるべき第1領域以外の第2領域の表面に絶縁層を形成する工程（B）と、前記ナノワイヤ素材における前記第1領域の表面を合金化することにより、前記コンタクト領域を形成する工程（C）とを含む。

【0020】

好ましい実施形態において、前記工程（A）は、第1の結晶成長条件で前記第1領域を成長させる工程（a1）と、前記第1の結晶成長条件とは異なる第2の結晶成長条件で前記第2領域を成長させる工程（a2）とを含む。

【0021】

好ましい実施形態において、前記工程（B）は、前記ナノワイヤ素材における前記第1および第2領域の表面を酸化することによって前記表面上に酸化膜を形成する工程（b1）と、前記酸化膜のうち前記第1領域の表面に形成された部分を選択的に除去することにより、前記第2領域の表面に前記酸化膜の一部を残存させる工程（b2）と、を含む。

【0022】

好ましい実施形態において、前記工程（C）は、前記ナノワイヤ素材における前記第1および第2領域の表面を覆う金属層を形成する工程（c1）と、前記金属層と前記第1領域の表面とが接触する部分で合金化を行なう工程（c2）と、前記金属層のうち合金化しなかった部分を選択的に除去する工程（c3）とを含む。

【0023】

本発明の電子素子は、少なくとも1本のナノワイヤと、前記ナノワイヤと電気的に接続された複数の電極とを備えた電子素子であって、各ナノワイヤは、前記複数の電極のい

れかに接触する２つのコンタクト領域を含む複数のコンタクト領域と、前記複数のコンタクト領域に接続された少なくとも一つのチャンネル領域とを含み、前記チャンネル領域は、半導体材料から形成されており、前記複数のコンタクト領域の各々は、前記半導体材料とは異なる材料から形成された導電部分を少なくとも表面に有している。

【００２４】

好ましい実施形態において、前記チャンネル領域から絶縁され、前記チャンネル領域に電界を及ぼすゲート電極を更に備える。

【００２５】

本発明の電子機器は、上記いずれの複数の電子素子と、前記電極を接続する配線と、前記複数の電子素子および配線を支持する基板とを備える。

【００２６】

好ましい実施形態において、前記複数の電子素子の各々に含まれる前記ナノワイヤは、前記基板上において、一定の方向に配向している。

【００２７】

本発明による電子機器の製造方法は、上記いずれかに記載の複数のナノワイヤが分散された溶媒を用意する工程と、前記溶媒を基板上に塗布する工程と、前記溶媒に含まれていた前記複数のナノワイヤの少なくとも一つにおける前記コンタクト領域を電極に接触させる工程とを含む。

【００２８】

好ましい実施形態において、前記溶媒を基板上に塗布する工程は、前記溶媒に分散されていた複数のナノワイヤを一定の方向に配向させる工程を含む。

【発明の効果】

【００２９】

本発明のナノワイヤは、各コンタクト領域がチャンネル領域を構成している半導体材料とは異なる材料から形成された導電部分を有しているため、電界効果トランジスタなどの電極との間で低いコンタクト抵抗を実現することが容易になる。特に、ナノワイヤが既に上記の導電部分を有しているため、本発明のナノワイヤを成長基板とは異なる素子基板上に配置し、トランジスタなどの電子素子を作製するとき、素子基板に低コンタクト抵抗化のための高温プロセス（たとえばシリサイド化工程）を施す必要がなくなる。このため、融点や軟化点が相対的に低い基板（例えばプラスチック基板）上に優れた特性を有するナノワイヤ素子を作製することが可能になる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００３０】

本発明では、コンタクト領域に特徴を有するナノワイヤを用いて電界効果トランジスタなどの電子素子を形成する。

【００３１】

（実施形態１）

以下、図１および図２を参照しながら、本発明によるナノワイヤの第１の実施形態を説明する。図１は、本実施形態におけるナノワイヤ１００の斜視図である。図２（ａ）は、ナノワイヤ１００の長軸方向に沿った断面図であり、図２（ｂ）は、ナノワイヤ１００を備えた電界効果トランジスタの断面図である。

【００３２】

図１および図２に示されているナノワイヤ１００は、一対のコンタクト領域１０ａ、１０ｂと、これらのコンタクト領域１０ａ、１０ｂに接続されたチャンネル領域１２とを有している。本実施形態では、チャンネル領域１２がシリコン（Si）から形成されているのに対して、コンタクト領域１０ａ、１０ｂは、Siとは異なる材料から形成された導電部分を少なくとも表面に有している。より具体的に説明すると、コンタクト領域１０ａ、１０ｂは、p型不純物が高濃度にドーパされたGeからなるコア部分と、そのコア部分の外周部を被覆する合金部分とから構成されている（ここではp型半導体のチャンネル領域について述べたが、n型についても同様に適用できる）。このコンタクト領域１０ａ、１０ｂの表

面に設けられた合金部分は、NiをGe表面と反応させることによって形成した金属化合物である。また、チャネル領域12の表面は酸化膜14によって被覆されている。

【0033】

このように、本実施形態のナノワイヤ100は、その両端部分に導電性に優れるコンタクト領域10a、10bを有しているため、ナノワイヤ100と電極との間の電氣的コンタクト抵抗を従来よりも低下させることができる。

【0034】

図2(b)に示される電界効果トランジスタは、上述のナノワイヤ100と、このナノワイヤ100のコンタクト領域10a、10bにそれぞれ接触するソース・ドレイン電極16a、16bと、これらを支持する素子基板20とを備えている。この素子基板20の上面にはゲート絶縁膜18が形成されており、素子基板20は、ナノワイヤ100のチャネル領域12の導電性を制御するためのゲート電極として機能する。図示されている例では、ナノワイヤ100を支持する素子基板20が導電性を有し、ゲート電極として機能しているが、ゲート電極の形態は、このような場合に限定されない。すなわち、公知のTFET（薄膜トランジスタ）のように、ガラスやプラスチックなどの材料からなる絶縁基板上に、導電膜パターンを形成し、この導電膜パターンによってゲート電極を構成してよい。

【0035】

以下、図3および図4を参照しながら、本実施形態におけるナノワイヤの製造方法を説明する。

【0036】

まず、図3(a)に示すように、成長用基板として機能する支持体101上に触媒微粒子130を形成する。触媒微粒子130は、単結晶半導体を成長（エピタキシャル成長）させる際、原料ガスを分解する触媒として機能する。支持体101は、以下の製造工程において用いる熱処理温度で変形しない限り、種々の材料によって構成することができる。具体的には、ガラス基板、Si基板、シリコン酸化膜が形成された基板などを用いることができる。支持体101の表面は結晶性を有している必要はない。また、支持体101の表面には、支持体101の本体を構成している材料とは異なる材料から形成された膜が形成されていても良い。

【0037】

本発明のナノワイヤとして成長させる単結晶半導体は、本実施形態で用いるSiやGeに限定されず、化合物半導体であってもよい。具体的には、GaAs、GaP、GaAsP、InP、InAs、InAsPなどのIII-V族化合物半導体、またはZnS、ZnSe、CdS、CdSeなどのII-VI族化合物半導体の単結晶を成長させてもよい。

【0038】

触媒金属元素には、Au、Fe、Ni、Ti、Pdなどを用いることができる。これらの金属は、原料ガスの分解促進に優れ、半導体を構成する元素と共晶状態を形成し、半導体の成長を促す機能を発揮する。触媒微粒子130の大きさは、成長させる半導体の直径とほぼ等しくなる。このため、所望の直径の半導体が得られるよう、触媒微粒子130の直径を選択することができる。しかし、触媒微粒子130の直径が大きくなりすぎると単結晶半導体を成長させることが困難となる。好ましくは、触媒微粒子130の直径は1nm～100nmであり、より好ましくは、5nmから50nmの範囲内である。

【0039】

触媒微粒子130の形成には、微粒子を形成する公知の方法を用いることができる。たとえば、図3(b)に示すように、支持体101の表面に触媒金属の薄膜130'をスパッタ法や蒸着法などによる公知の薄膜形成装置を用いて形成する。その後、薄膜130'を熱処理すると、薄膜130'が自己凝集し、図3(c)に示すように粒子状の複数の触媒微粒子130が支持体101上に形成される。触媒微粒子130の直径d1および隣接する触媒微粒子130間の距離L1は、薄膜130'の厚さおよび熱処理条件に依存し、これらを調整することによりd1およびL1を変化させることができる。上述したように好

ましくは、触媒微粒子 130 の直径 d_1 は 100 nm 以下である。

【0040】

触媒微粒子 130 は、このほか、触媒金属を含む溶液を支持体 101 の表面に塗布あるいは噴霧することによっても形成することができる。また、必要に応じて、薄膜 103' を形成後、パターニングを行い、支持体 101 上の所定の領域にのみ触媒微粒子 130 を形成することも可能である。

【0041】

次に、触媒微粒子 130 が形成された支持体 101 を CVD 装置などのチャンバ内に導入する。そして、図 4 (a) に示すように、半導体を構成する元素を含む原料ガス 108 をチャンバに導入し、所定の圧力に保つ。これにより、支持体 101 の触媒微粒子 130 が形成された表面は所定の圧力の原料ガス雰囲気と接する。支持体 101 は原料ガス 108 が分解する温度よりも低い温度で加熱される。

【0042】

原料ガス 108 としては、半導体を構成する元素の水素化物を好適に用いることができる。たとえば、Si または Ge を含有する IV 族半導体を成長させるには、 SiH_4 、 Si_2H_6 、 GeH_4 などを用いることができる。

【0043】

本実施形態では、後に詳しく説明するように、原料ガス 108 を結晶成長の途中で GeH_4 から SiH_4 に切り替え、また、その後に SiH_4 から GeH_4 に切り替える。更には、原料ガス中に適宜ドーパント用ガスが添加される。なお、化合物半導体を成長させる場合には、原料ガスとして有機金属化合物を好適に用いることができる。

【0044】

図 4 (b) に示すように、導入された原料ガス 108 は、触媒微粒子 130 の近傍においてのみ選択的に分解する。分解により半導体を構成する元素が析出し、析出した元素が凝集し単結晶半導体が成長する。これにより単結晶半導体からなる微小構造体 111 が形成されてゆく。単結晶半導体の成長メカニズムは、まだ完全には解明されていないが、析出した元素はまず、触媒微粒子 130 と合金を構成すると考えられる。この合金は多くの場合、液体になっている。元素の析出にともない、合金中の半導体を構成する元素濃度が上昇し、飽和状態に達した後、半導体を構成する元素が凝集し単結晶半導体を形成してゆくと考えられる。

【0045】

このため、結晶の成長は、触媒微粒子 130 と成長した単結晶半導体からなる微小構造体 111 との境界で起こると考えられる。単結晶半導体の成長にともなって、触媒微粒子 130 は支持体 101 から離間する。微小構造体 111 の支持体 101 と接していない端部に触媒微粒子 130 は保持される。これにより、図 4 (c) に示すように単結晶半導体が成長し、微小構造体 111 が形成される。

【0046】

このようにして成長された単結晶半導体からなる微小構造体 111 は、好ましくは、成長方向に垂直な断面の最大長が 1 nm ~ 100 nm であり、より好ましくは、5 ~ 50 nm である。微小構造体 111 は、支持体 101 に支持されており、その先端には、触媒微粒子 130 が接している。上述したように、半導体成長中に触媒微粒子 130 は熔融し、球状となるため、成長する微小構造体 111 は円柱形状を備える。しかし、微小構造体 111 の断面は円以外の形状を備えていてもよい。

【0047】

なお、微小構造体 111 の結晶成長方向の長さは、結晶を成長させる時間によって調節可能である。十分長い時間結晶成長を行えば、長さが数 μm の微小構造体 111 を形成することも可能である。微小構造体 111 の直径が 100 μm 以下であり、結晶成長方向が長手方向と一致している場合には、微小構造体 111 は「ナノワイヤ」と一般的に呼ばれる外形形状を備える。

【0048】

また、微小構造体 1 1 1 は支持体 1 0 1 から上方へおおよそ垂直に成長しているが、単結晶半導体の成長方向は支持体 1 0 1 の表面に対して、横（水平）あるいは斜めであってもよい。ある方向への成長が優先的に生じるように、単結晶半導体の成長条件を最適化してもよいし、ランダムな方向へ単結晶半導体を成長させてもよい。

【 0 0 4 9 】

次に、図 5 を参照しながら、本実施形態のナノワイヤを製造する方法を、より詳細に説明する。

【 0 0 5 0 】

まず、図 5（a）に示すように基板上に触媒金属粒子 1 3 0 を形成した後、図 5（b）に示すように Ge を成長させる。このとき、ドーパントガスとして B_2H_6 （p 型）または PH_3 （n 型）を添加した GeH_4 を原料ガスとして用い、基板温度を $300 \sim 400^\circ C$ 程度に保持することにより、ナノワイヤの Ge 部分 1 0 0 a を成長させる。この Ge 部分 1 0 0 a の長さは、例えば、 $100 \sim 1000 \text{ nm}$ の範囲に設定される。Ge 部分 1 0 0 a は、最終的には、ナノワイヤのコンタクト領域 1 0 a として機能することになる。

【 0 0 5 1 】

次に、原料ガスを SiH_4 に切り替えることにより、図 5（c）に示すように、Si 部分 1 0 0 b を Ge 部分 1 0 0 a の上に成長させる。この Si 部分 1 0 0 b はチャネル領域 1 2 として機能する部分であり、ドーパントガスは原料ガスに添加する必要はない。ただし、ナノワイヤを p チャネル型トランジスタに用いる場合は、Si 部分に n 型不純物を低濃度にドーピングすることが好ましい。一方、ナノワイヤを n チャネル型トランジスタに用いる場合は、Si 部分 1 0 0 b に p 型不純物を低濃度にドーピングすることが好ましい。このようなチャネルドーピングも、 SiH_4 にドーパント用ガスを微量に添加することによって実行できる。

【 0 0 5 2 】

ナノワイヤにおける Si 部分 1 0 0 b の長さは、チャネル長を規定する。形成すべきトランジスタの設計に応じて、Si 部分 1 0 0 b の成長レートおよび成長時間を調節し、所望の長さの Si 部分 1 0 0 b を形成することができる。本実施形態では、Si 部分 1 0 0 b の長さを例えば $100 \sim 5000 \text{ nm}$ の範囲に設定することができる。

【 0 0 5 3 】

Si 部分 1 0 0 b の成長の後、再び、ドーパントガスとして B_2H_6 （p 型）または PH_3 （n 型）を添加した GeH_4 を原料ガスに切り替える。こうして、図 5（d）に示すように、ナノワイヤの Ge 部分 1 0 0 c を Si 部分 1 0 0 b 上に成長させる。Ge 部分 1 0 0 c の長さは、例えば、 $100 \sim 1000 \text{ nm}$ の範囲に設定される。

【 0 0 5 4 】

次に、図 5（e）に示すように、ナノワイヤの表面を熱酸化することにより、ナノワイヤの表面に絶縁層 1 4 0 a ～ 1 4 0 c を形成する。ナノワイヤのうち Ge 部分 1 0 0 a、1 0 0 b の表面には Ge 酸化膜 1 4 0 a、1 4 0 b が形成され、Si 部分 1 0 0 b の表面には Si 酸化膜 1 4 0 b が形成される。

【 0 0 5 5 】

次に、Ge 酸化膜 1 4 0 a、1 4 0 c よりも優先的に Si 酸化膜 1 4 0 b をエッチングする条件で酸化膜エッチングを行なう。これにより、図 5（f）に示すように、Ge 部分 1 0 0 a、1 0 0 c の表面が露出し、Si 部分 1 0 0 b の表面（外周面）が絶縁膜（Si 酸化膜 1 4 0 b）で被覆された構造が得られる。

【 0 0 5 6 】

この後、不図示の金属をナノワイヤの表面に堆積する。このとき、CVD 法によれば、ナノワイヤの表面全体を被覆するように金属層を形成することが容易である。一方、スパッタ法による場合は、ナノワイヤの表面のうち、金属ターゲットに面する側に部分的な金属層が形成されやすい。このため、スパッタ法によって堆積した金属膜でナノワイヤの外周面を被覆するには、成長基板を回転させることが好ましい。

【 0 0 5 7 】

ナノワイヤの外周面を被覆する金属層の一部は、Ge部分100a、100bと直接に接触しているが、他の部分は、Si部分100bの外周面に形成されたSi酸化膜140bと接触している。このSi酸化膜140bの介在により、金属膜はSi部分100bとは直接に接触していない。

【0058】

次に、金属膜を構成する金属元素がGeと反応して、金属とGeとの化合物（合金）を形成するように熱処理（合金化処理）を行なう。この熱処理により、Ge部分100a、100bの表面は合金化されるが、Si酸化膜によって被覆されたSi部分の表面は合金化されない。この合金化によって、合金層150a、150bがナノワイヤの両端部分に形成される。

【0059】

その後、ナノワイヤの表面に堆積した金属膜のうちの未反応部分（Si酸化膜140bを覆う部分）を選択的にエッチングすることにより、図5（g）に示す構成のナノワイヤが得られる。このナノワイヤは、両端部のコンタクト領域に合金層150a、150bを有している点に大きな特徴を有している。チャネル領域の外周面は絶縁膜（Si酸化膜140b）によって被覆されている。

【0060】

次に、このようにして作製された多数のナノワイヤをエタノールなどの溶液に分散させ、この溶液を素子基板の表面に塗布する。本実施形態で用いる素子基板の表面には、あらかじめ、ゲート配線と、ゲート配線を被覆するゲート絶縁膜とが形成されている。上記の溶液を素子基板の表面に塗布するとき、素子基板上で溶液の流れを形成することにより、溶液中に分散していた個々のナノワイヤを流速方向に配向させることができる。このような溶液の流れを利用した配向を行うことにより、多数のナノワイヤが所定方向に向いて配列した構造が素子基板上に形成することができる。この方法の詳細は、例えば非特許文献1に開示されている。

【0061】

このようなナノワイヤの配列構造は、例えば500～1000nm程度の平均間隔で素子基板上に分散した多数のナノワイヤから構成されている。素子基板上におけるナノワイヤの平均間隔は、溶液中に含まれていたナノワイヤの密度を調節することによって制御することができる。溶液中に含まれていたナノワイヤの密度を低くすると、素子基板上のナノワイヤは疎らに存在することになるが、逆に、溶液中に含まれていたナノワイヤの密度を高くすると、素子基板上のナノワイヤの平均間隔を縮小させ、隣接するナノワイヤが相互に接触するように稠密に配置を実現することもできる。

【0062】

このような方法によれば、素子基板上における個々のナノワイヤの位置を正確に制御することはできないが、多数のナノワイヤを略一方向に配向させ、かつ、略均一な密度で素子基板上に配列させることができる。

【0063】

次に、多数のナノワイヤを上記方法で表面に配した素子基板を用い、その上にソース・ドレイン電極を形成する工程を実施する。電極形成のためのプロセスとしては、半導体集積回路の製造に用いられている公知のプロセスを採用することができる。

【0064】

以上の工程を経て、図6に示すトランジスタ素子を形成することができる。図6では、素子基板20上に形成したソース電極16aとドレイン電極16bとの間に1本のナノワイヤ100が存在している例が示されているが、図7に示すように、ソース電極16aとドレイン電極16bとの間には複数のナノワイヤが存在していてもよい。図7に示す例では、ソース電極16aおよびドレイン電極16bの両方に電気的に接続された2本のナノワイヤA以外に、一方の電極16aまたは16bのみに接続されたナノワイヤBや、いずれの電極16a、16bにも接続されていないナノワイヤCが図示されている。これらのナノワイヤA～Cのうち、トランジスタのチャネルとして動作し得るものは、ナノワイヤ

Aのみである。

【0065】

前述のように、素子基板20上には多数のナノワイヤが略一方向に沿って配列されている。そのような表面状態の素子基板20に対して、ソース電極16aおよびドレイン電極16bを形成するとき、導電膜の堆積工程、リソグラフィ工程、エッチング工程を順次実行することになる。ソース電極16aおよびドレイン電極16bのサイズおよび間隔を適切な範囲に設定することにより、少なくとも1本のナノワイヤがソース電極16aおよびドレイン電極16bを確実に接続するように構成することが可能である。図8は、図7に示す例よりも高密度でナノワイヤが配置された素子基板の表面を示している。ナノワイヤの密度を更に高めてゆくと、ナノワイヤからなる膜を形成することも可能である。このような膜は、ナノワイヤの配向方向に異方的な導電性を有する半導体特性を有している。

【0066】

1つのトランジスタのチャネル領域として機能するナノワイヤの本数は、素子基板の表面に存在するナノワイヤの個数密度に依存する。この個数密度を高くすると、一対のソース・ドレイン電極16a、16bの間に位置するナノワイヤの個数が増加し、また個数ばらつきの小さくなる傾向がある。密集したナノワイヤは、異方性を有する一種の半導体膜として機能しうる。ソース・ドレイン電極を形成した後、不要なナノワイヤをエッチングすることによって素子基板上から除去することが好ましい。

【0067】

本実施形態では、低コンタクト抵抗を実現するため、各ナノワイヤのコンタクト領域10a、10bの表面を合金化しているが、合金化のための工程は省略してもよい。合金化工程を省略する場合、ナノワイヤのコンタクト領域10a、10bの表面は、図5(f)に示される状態にあり、p型またはn型不純物が高濃度にドーピングされたGeが露出している。このようなナノワイヤを用いても、コンタクト領域10a、10bが金属的な高い導電性を示すため、ソース・ドレイン電極16a、16bとの間でオーミックコンタクトを実現することができる。

【0068】

また、本実施形態では、チャネル領域をナノワイヤのSi部分によって構成し、コンタクト領域をGe部分によって構成しているが、本発明はこのような場合に限定されない。チャネル領域をGeなどのSi以外の半導体から形成し、コンタクト領域をSiから形成してもよい。その場合、コンタクト領域の表面は金属層と反応してシリサイド化されることになる。シリサイド化に好適に用いられる金属は、例えば、Ti、Co、Niなどである。

【0069】

チャネル領域を選択的に被覆する絶縁膜を形成するためには、本実施形態のように、相互にエッチング特性の異なる熱酸化膜を形成する材料からチャネル領域とコンタクト領域とを構成することが好ましい。しかし、そのために必要な半導体材料の組み合わせは、SiとGeに限定されない。例えば、 $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ ($0 < x < 1$) からチャネル領域を形成し、 $\text{Si}_y\text{Ge}_{1-y}$ ($0 < y < 1$ 、 $x \neq y$) からコンタクト領域を形成しても、組成比率(x、y)の違いによって形成される熱酸化膜のエッチング特性に差異を設けることが可能な場合がある。

【0070】

なお、チャネル領域およびコンタクト領域の両方を同一組成の半導体材料から形成してもよい。コンタクト領域における不純物濃度をチャネル領域における不純物濃度よりも高く設定することにより、ナノワイヤの表面に形成される熱酸化膜のエッチング特性に差異を与えることが可能になる場合もある。コンタクト領域の表面に形成される熱酸化膜を選択的にエッチングすることができれば、リソグラフィ工程を行うことなく、コンタクト領域の表面のみを露出させることが可能になる。

【0071】

このように本実施形態では、ナノワイヤの表面に形成する熱酸化膜のうちコンタクト領

域の表面を覆う部分のエッチングレートをチャンネル領域の表面を覆う部分のエッチングレートを高めることにより、コンタクト領域の表面を自己整合的に露出させることを可能にしている。しかし、このような自己整合的な方法を用いる代わりに、リソグラフィおよびエッチング工程を付加的に行なうことにより、チャンネル領域のみを被覆する絶縁膜を形成してもよい。ただし、基板上に成長した個々のナノワイヤに対し、リソグラフィ技術を用いてチャンネル領域のみを被覆するレジストマスクを形成することは困難である。このため、本実施形態のように、ナノワイヤのコンタクト領域とチャンネル領域とを異なる半導体材料から形成することが好ましい。

【0072】

ナノワイヤのコンタクト領域とチャンネル領域とを異なる材料から形成するとき、コンタクト領域の表面にのみ選択的に金属層を成長させて導電部分を形成し、その後に、チャンネル領域の表面を絶縁化する処理を行なうようにしてもよい。

【0073】

（実施形態2）

次に、図9（a）および（b）を参照しながら、本発明の第2の実施形態を説明する。

【0074】

図9（a）は、本実施形態におけるナノワイヤを示す図であり図9（b）は、このようなナノワイヤを用いて作製した電界効果トランジスタの平面図である。

【0075】

本実施形態の特徴的な点は、図9（a）に示すように、1本のナノワイヤが3個以上のコンタクト領域 $10_1 \sim 10_N$ （Nは3以上の整数）と、2個以上のチャンネル領域 $12_1 \sim 12_M$ （Mは2以上の整数）とを備えていることにある。

【0076】

このようなナノワイヤは、図5（b）～（d）を参照して説明した結晶成長プロセスを繰り返して実行し、例えばGe部分とSi部分と交互に成長させることによって作製され得る。この場合、Si部分のみを絶縁膜で被覆し、Ge部分の表面を選択的に合金化する点は、前述の実施形態と同様である。

【0077】

図9（b）からわかるように、ソース・ドレイン電極16a、16bに接続された各ナノワイヤにおける「チャンネル長」は、ソース電極16aに接触しているコンタクト領域と、ドレイン電極16bに接触しているコンタクト領域との間に存在するチャンネル領域の個数（P）に比例する。すなわち、チャンネル長＝1つのチャンネル領域の長さ×Pである。チャンネル幅に相当する大きさは、ソース電極16aとドレイン電極16bとを接続するナノワイヤの本数に比例する。

【0078】

次に、図10を参照しながら、ソース・ドレイン電極16a、16bの位置がナノワイヤの長軸方向にずれた場合を考える。ここで、各チャンネル領域の長さを L_{ch} 、ソース・ドレイン電極間隔を L_{SD} 、コンタクト領域の長さを L_{cont} 、ソース電極16aのチャンネル長方向の長さを L_S 、ドレイン電極16bのチャンネル長方向の長さを L_D とする。

【0079】

ソース・ドレイン電極16a、16bの位置がナノワイヤの長軸方向に沿って大きくシフトした場合でも、常に適切なコンタクトを実現できれば、アライメントフリーで電界効果トランジスタを歩留まり良く作製することが可能になる。

【0080】

このようなアライメントフリーを実現するためには、以下の点に留意する必要がある。

【0081】

まず、ソース電極16aおよびドレイン電極16bが、それぞれ、異なるコンタクト領域と常に接触する必要がある。このためには、以下の式を満足することが不可欠である。

【0082】

$$L_S > L_{ch}$$

（式1）

$$L_D > L_{ch} \quad (\text{式 } 2)$$

$$L_{SD} > L_{CONT} \quad (\text{式 } 3)$$

【0083】

式1を満足すると、ソース電極16aが横方向にずれても常にコンタクト領域の一部がソース電極16aに接触することが可能になる。同様に式2を満足すると、ドレイン電極16bが横方向にずれても常にコンタクト領域の一部がソース電極16bに接触し得る。なお、コンタクト抵抗を低減するには、上記の接触面積を拡大することが好ましいが、この接触面積を拡大するには、 L_S および L_D を大きな値（例えば $L_{ch} + L_{CONT}$ を超える値）に設定すれば良い。

【0084】

式3を満足すると、ソース電極16aおよびドレイン電極16bの両方が同一のコンタクト領域に接触して短絡してしまう事態を避けることができる。なお、 L_{SD} は、ナノワイヤの全長よりも小さいことが必要である。

【0085】

以上の説明から明らかなように、素子基板上に形成されるソース・ドレイン電極16a、16bのサイズおよび間隔に比べ、 L_{ch} および L_{CONT} を十分に小さい値に設定し、かつ、ナノワイヤの長さを十分に長く形成すれば、長軸方向のアライメントフリーを実現できる。

【0086】

チャンネル長方向に垂直な方向の位置合わせについてアライメントフリーを達成するには、素子基板上に配置されたナノワイヤの個数密度を高め、ソース・ドレイン電極16a、16bが多数（例えば50本以上）のナノワイヤを横切るように設計することが好ましい。

【0087】

本実施形態のナノワイヤにおいて、コンタクト領域およびチャンネル領域は、長軸方向に沿って所定のピッチで交互に配列されていることが好ましく、そのピッチ（ $L_{ch} + L_{cont}$ ）は、例えば、300nm以上3000nm以下の範囲に設定される。また、各チャンネル領域の長軸方向の長さは、例えば100nm以上1000nm以下に設定される。

【0088】

（実施形態3）

次に、図11を参照しながら、本発明の第3の実施形態を説明する。

【0089】

図13は、本実施形態におけるナノワイヤ200を用いて作製した電界効果トランジスタの平面図である。図6に示す電界効果トランジスタとの相違点は、ナノワイヤ200のチャンネル領域の長さがソース電極16aとドレイン電極16bとの間隔よりも短い点にある。

【0090】

本実施形態では、リソグラフィ技術の限界を超えてチャンネル長を短縮している。前述のように、チャンネル長はナノワイヤのチャンネル領域の長さに規定され、この長さは、ナノワイヤの成長プロセスで制御できる。このため、リソグラフィ技術の限界によらず、チャンネル領域の長さは極めて短い値（例えば50～1000nmの範囲）に設定することが可能である。

【0091】

（実施形態4）

以下、図12（a）～（c）を参照しながら、本発明の第4の実施形態を説明する。

【0092】

本実施形態では、まず、図12（a）に示すように、Ti膜220が表面に形成された成長基板を用意し、この基板のTi膜220上にTi微粒子230を形成する。

【0093】

次に、前述した方法と同様の方法により、ナノワイヤを構成するシリコン部分240

を成長させ、図 1 2（b）に示す構造を得る。

【 0 0 9 4 】

その後、熱処理（例えば 6 0 0 ～ 8 0 0℃）を実行することにより、T i とシリコン部分 2 4 0 とが接触している領域においてシリサイド化を行い、図 1 2（c）に示すように、シリサイド部分 2 5 0 を形成する。

【 0 0 9 5 】

本実施形態の方法によれば、ナノワイヤの表面にシリサイド化に必要な金属の膜を別途堆積する必要がなくなる。

【産業上の利用可能性】

【 0 0 9 6 】

本発明のナノワイヤは、高温プロセスに耐えられないプラスチックのような材料からなる基板上に電界効果トランジスタを形成し、しかも、ソース・ドレイン電極とナノワイヤとの間で低抵抗コンタクトを実現することが可能になる。このような電界効果トランジスタは、薄型のフラットパネルディスプレイにおけるスイッチング素子や駆動回路に特に適している。

【 0 0 9 7 】

また、本発明のナノワイヤは、従来のリソグラフィでは実現困難な微細な短チャネルトランジスタの製造に好適に用いられる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 9 8 】

【図 1】 本発明の実施形態 1 におけるナノワイヤ 1 0 0 の斜視図である。

【図 2】（a）は、ナノワイヤ 1 0 0 の長軸方向に沿った断面図であり、（b）は、ナノワイヤ 1 0 0 を備えた電界効果トランジスタの断面図である。

【図 3】（a）は実施形態 1 におけるナノワイヤの製造方法における途中の工程を示す斜視図であって、触媒微粒子 1 3 0 が形成された支持体 1 0 1 を示している。（b）および（c）は、触媒微粒子 1 3 0 を形成するための製造工程図である。

【図 4】（a）から（c）は、実施形態 1 におけるナノワイヤの製造方法を示す工程断面図である。

【図 5】（a）から（g）は、実施形態 1 におけるナノワイヤの製造方法をより詳細に示す工程断面図である。

【図 6】 実施形態 1 における電界効果型トランジスタの一例を示す平面図である。

【図 7】 実施形態 1 における電界効果型トランジスタの他の例を示す平面図である。

【図 8】 実施形態 1 で使用する素子基板の他の例を示す平面図である。

【図 9】（a）は、本発明の実施形態 2 におけるナノワイヤを示す図であり、（b）は、実施形態 2 における電界効果型トランジスタを示す平面図である。

【図 1 0】 実施形態 2 の電界効果型トランジスタにおける各要素の寸法を説明するための平面レイアウト図である。

【図 1 1】 本発明の実施形態 3 における電界効果型トランジスタを示す平面図である。

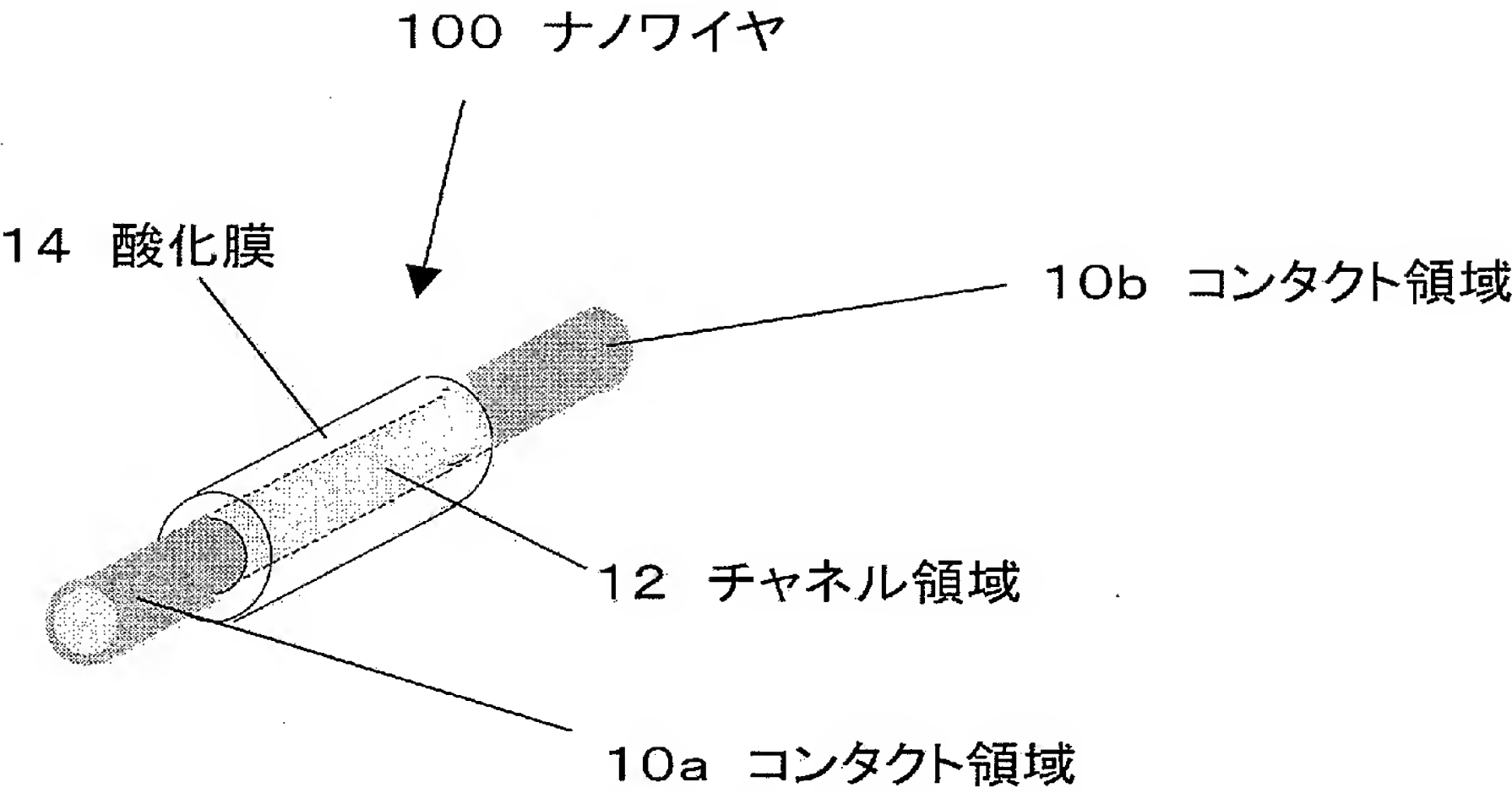
【図 1 2】（a）から（c）は、本発明の実施形態 4 におけるナノワイヤの製造方法を示す断面図である。

【符号の説明】

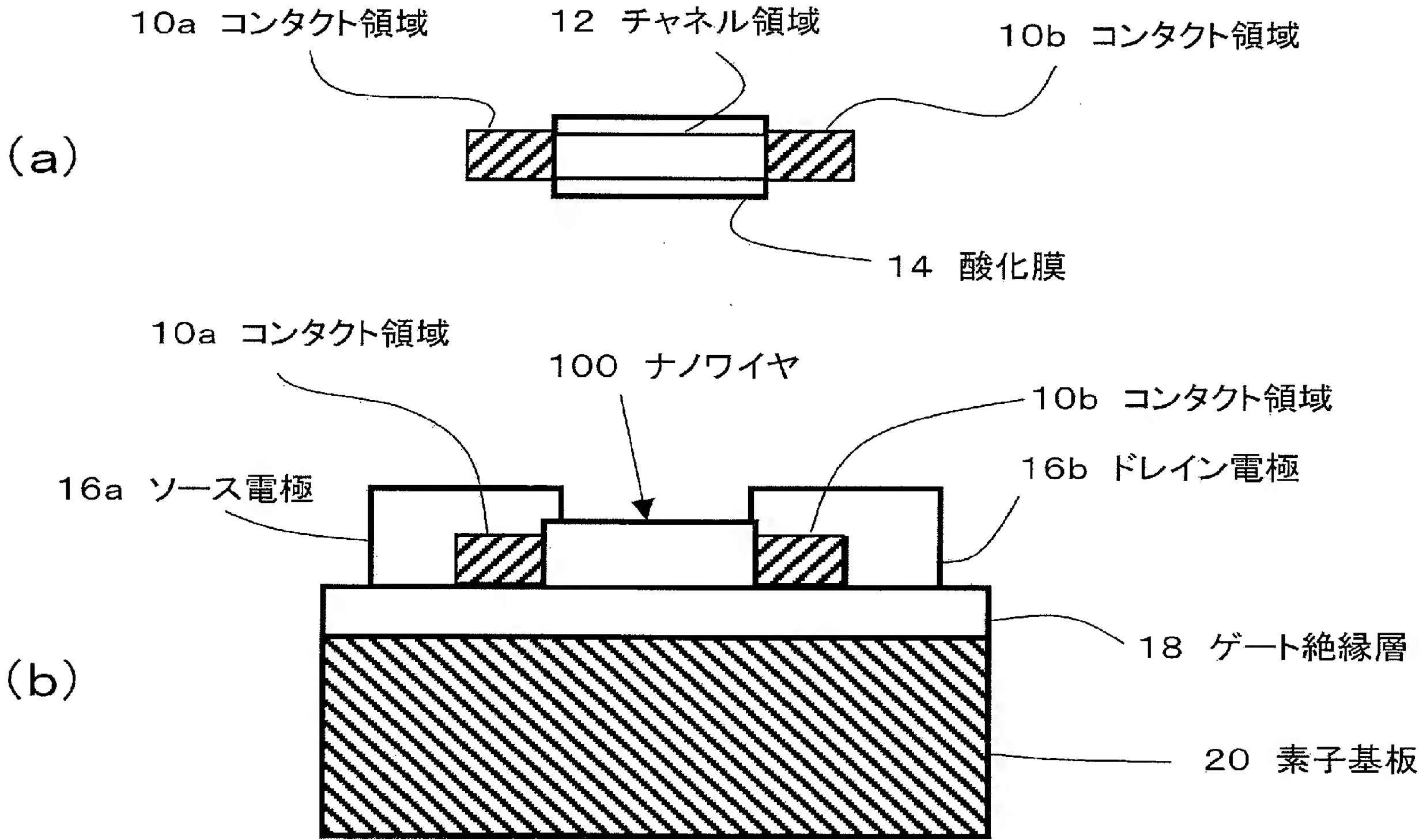
【 0 0 9 9 】

- 1 0 a コンタクト領域
- 1 0 b コンタクト領域
- 1 2 チャネル領域
- 1 4 酸化膜
- 1 6 a ソース電極
- 1 6 b ドレイン電極
- 2 0 素子基板

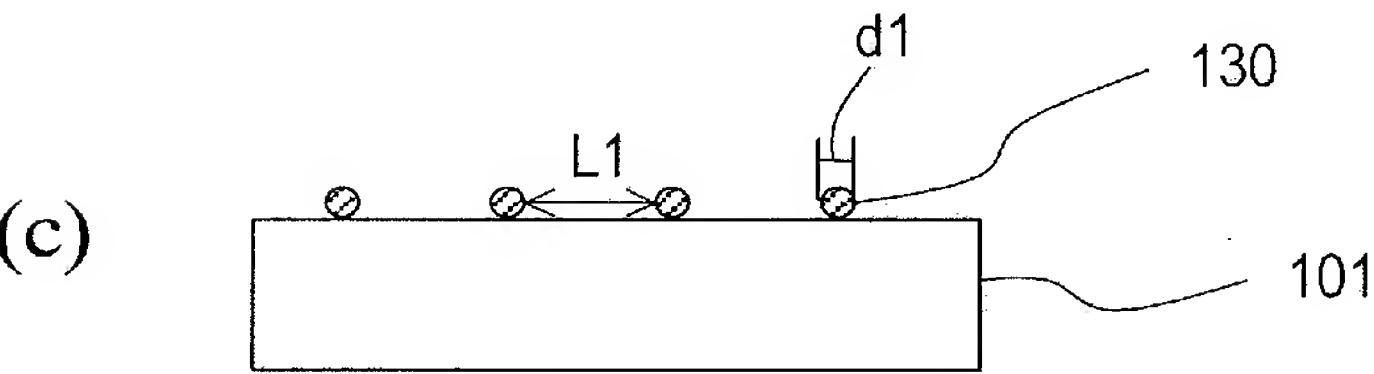
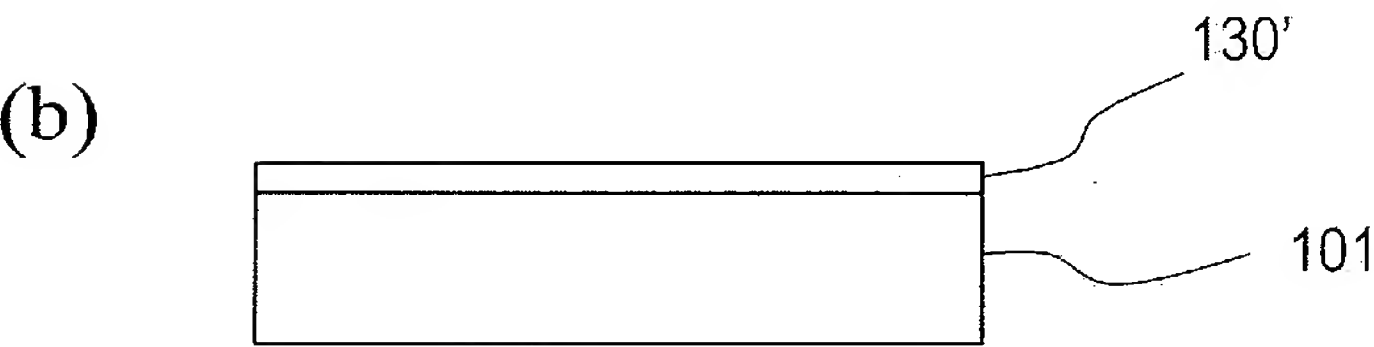
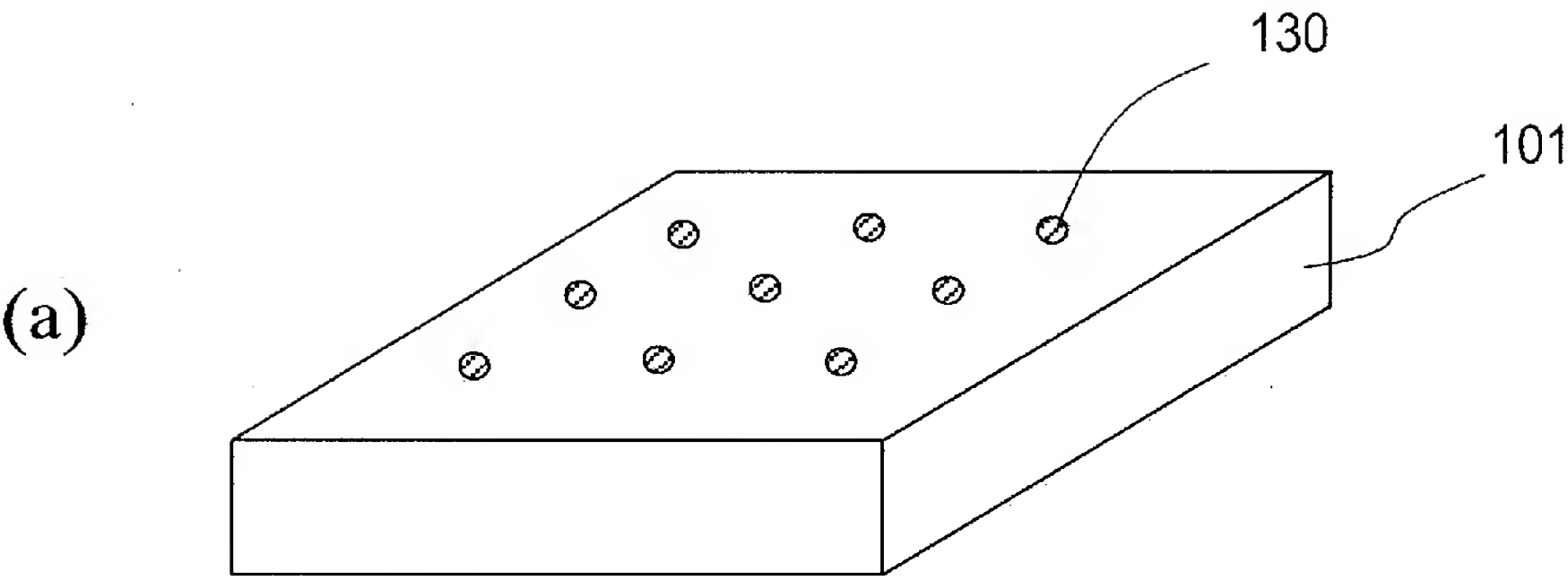
1 0 0	ナ ノ ワ イ ヤ
1 0 0 a	G e 部分
1 0 0 b	S i 部分
1 0 0 c	G e 部分



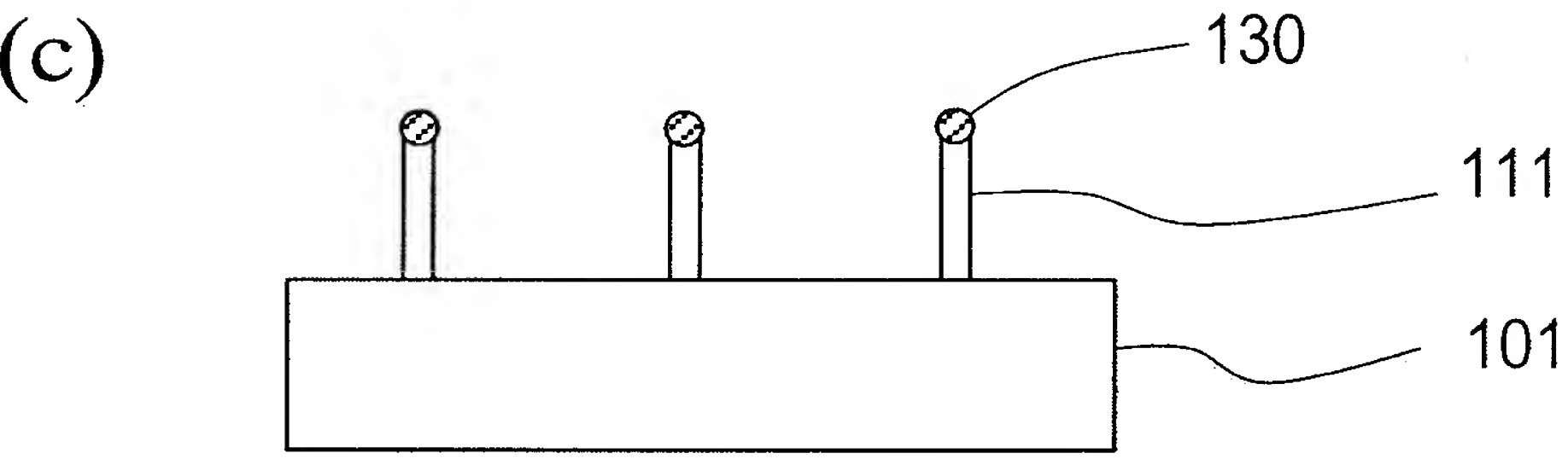
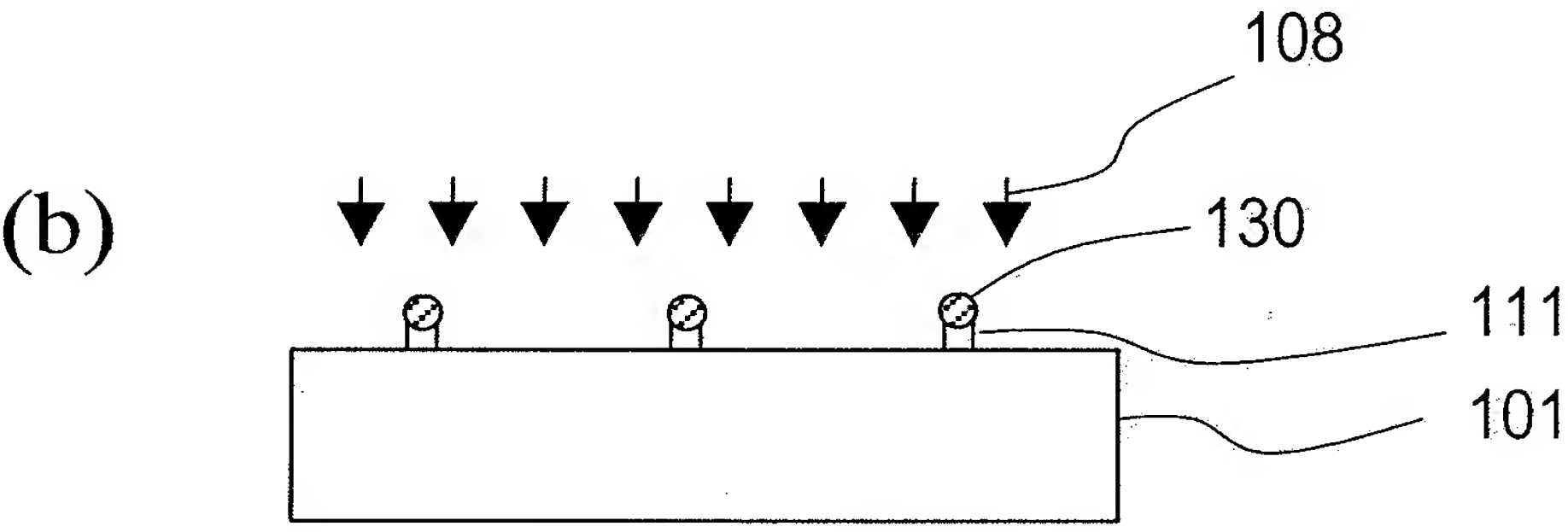
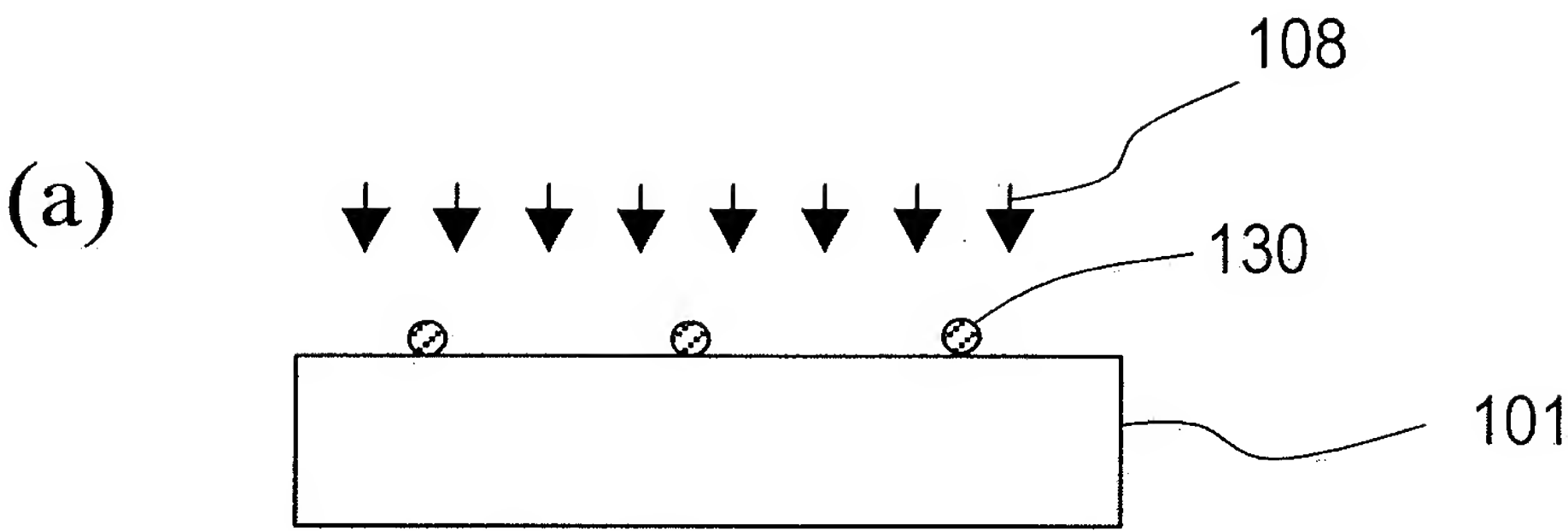
【図 2】



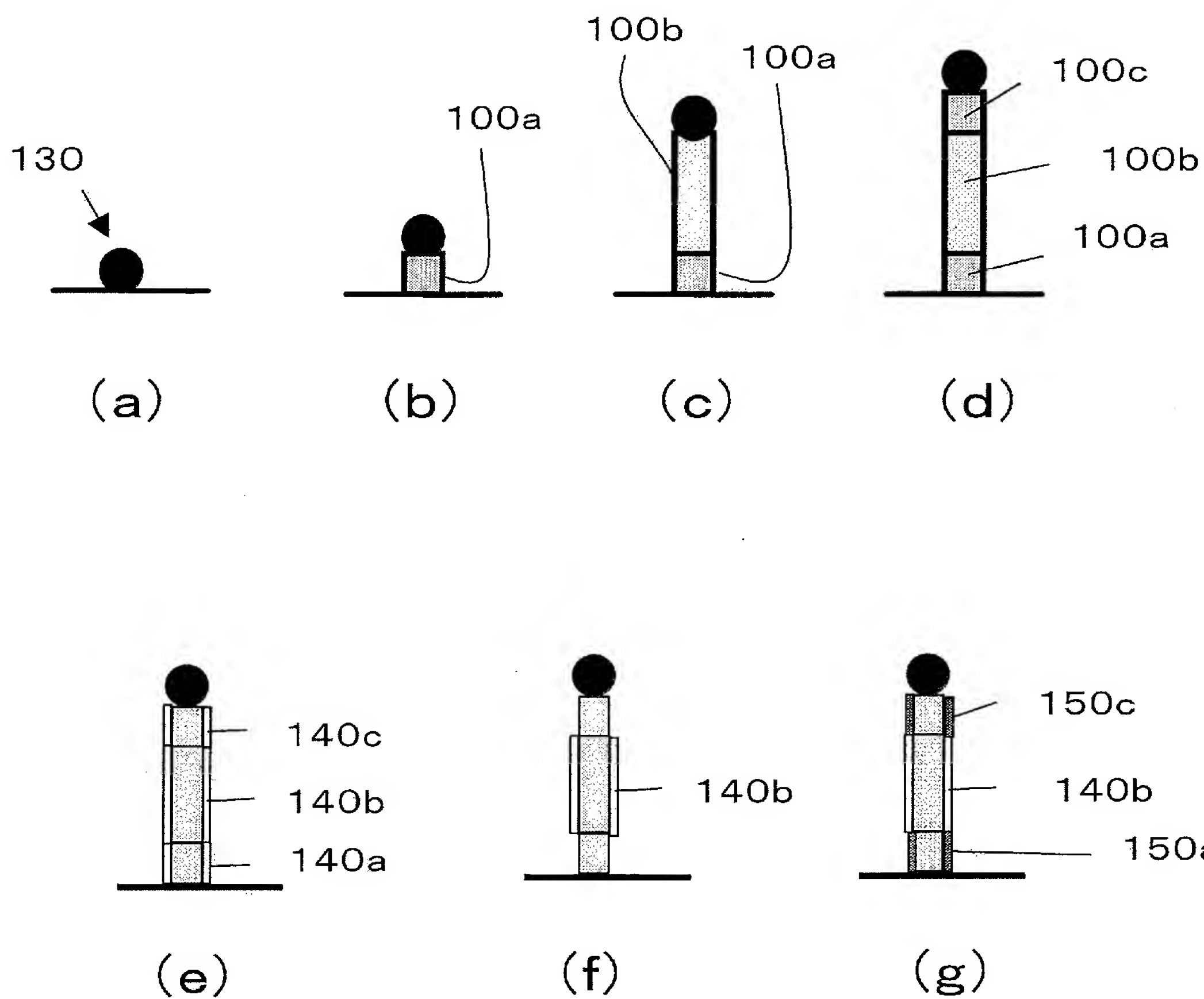
【圖 3】



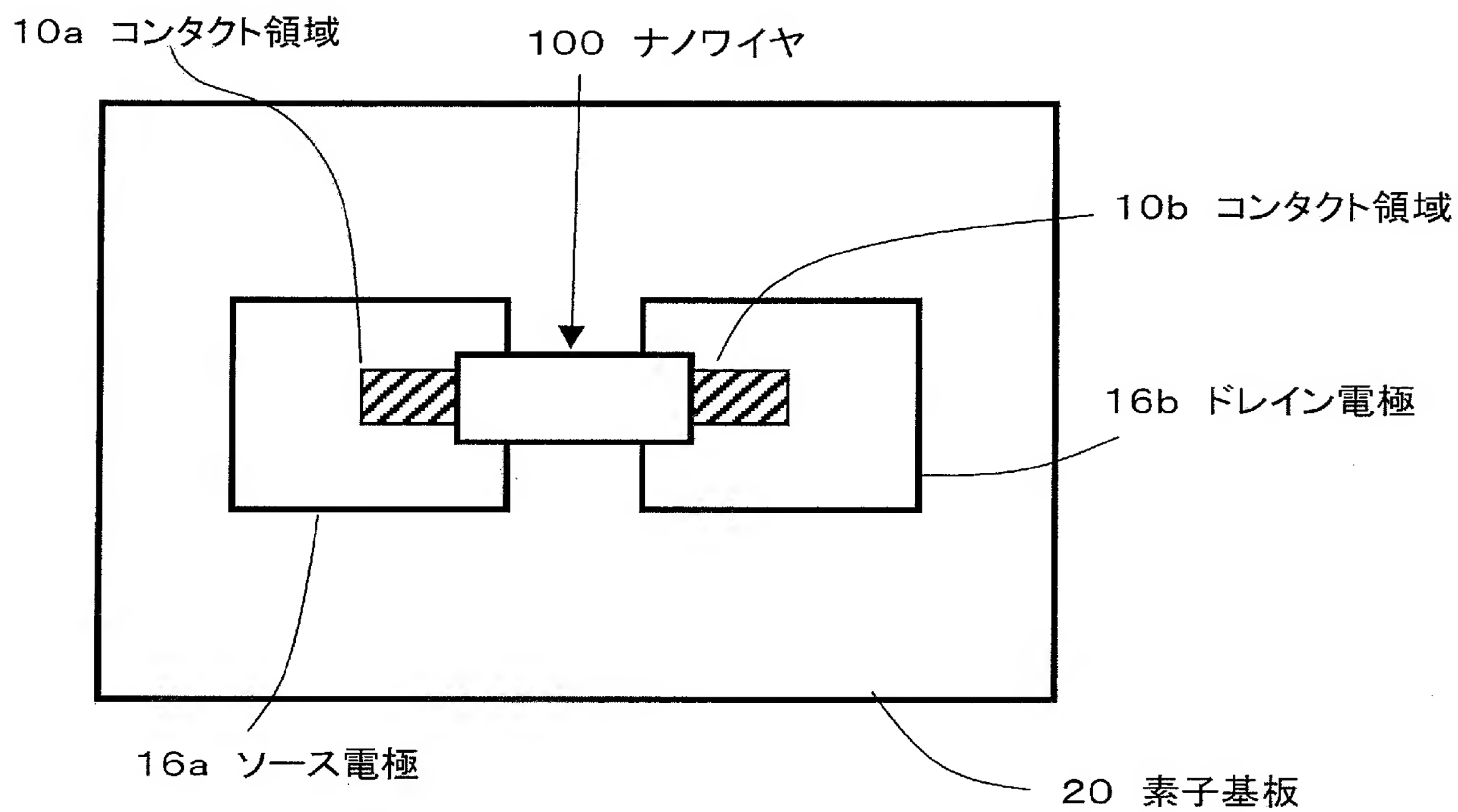
【图 4】



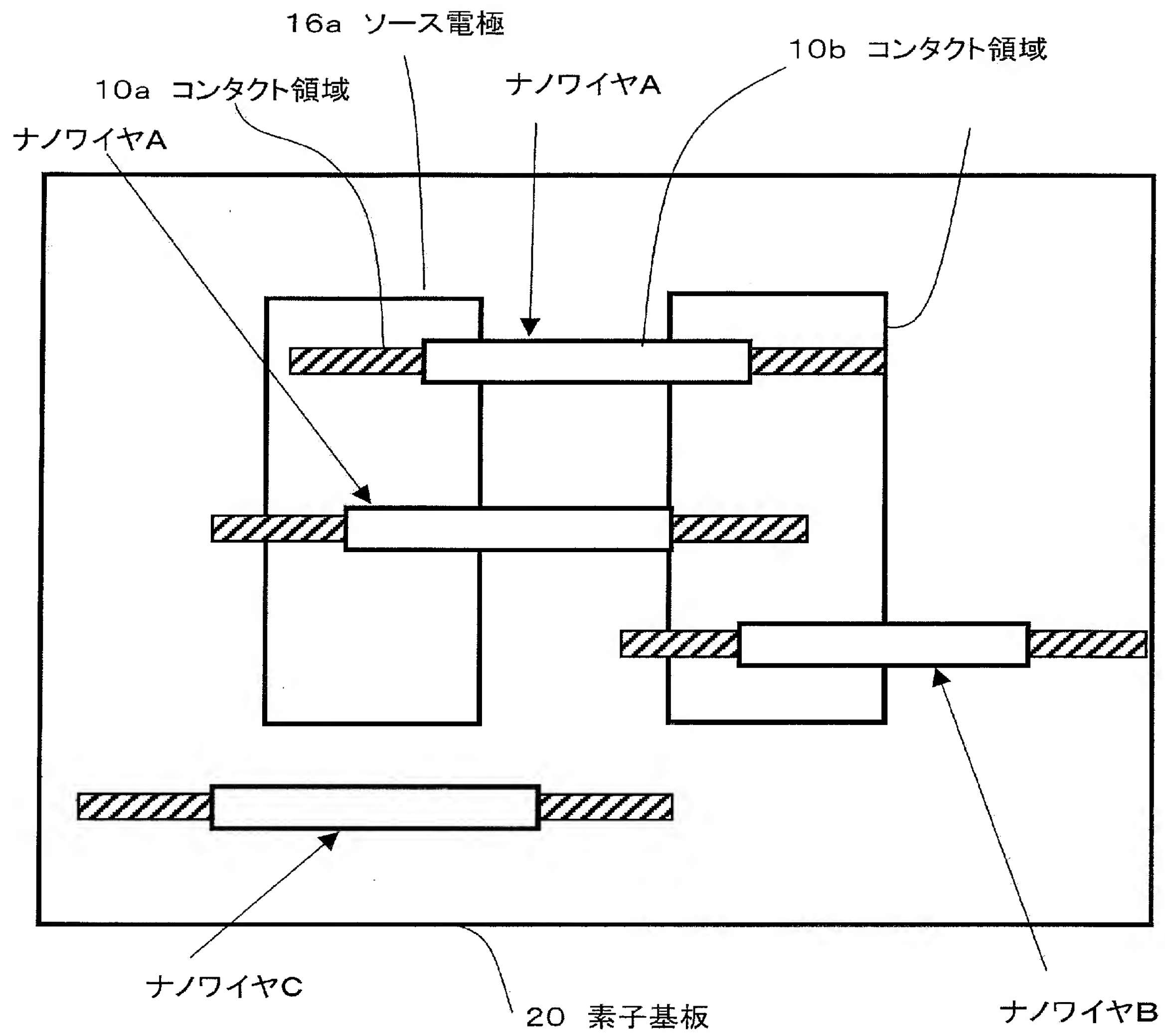
【図 5】



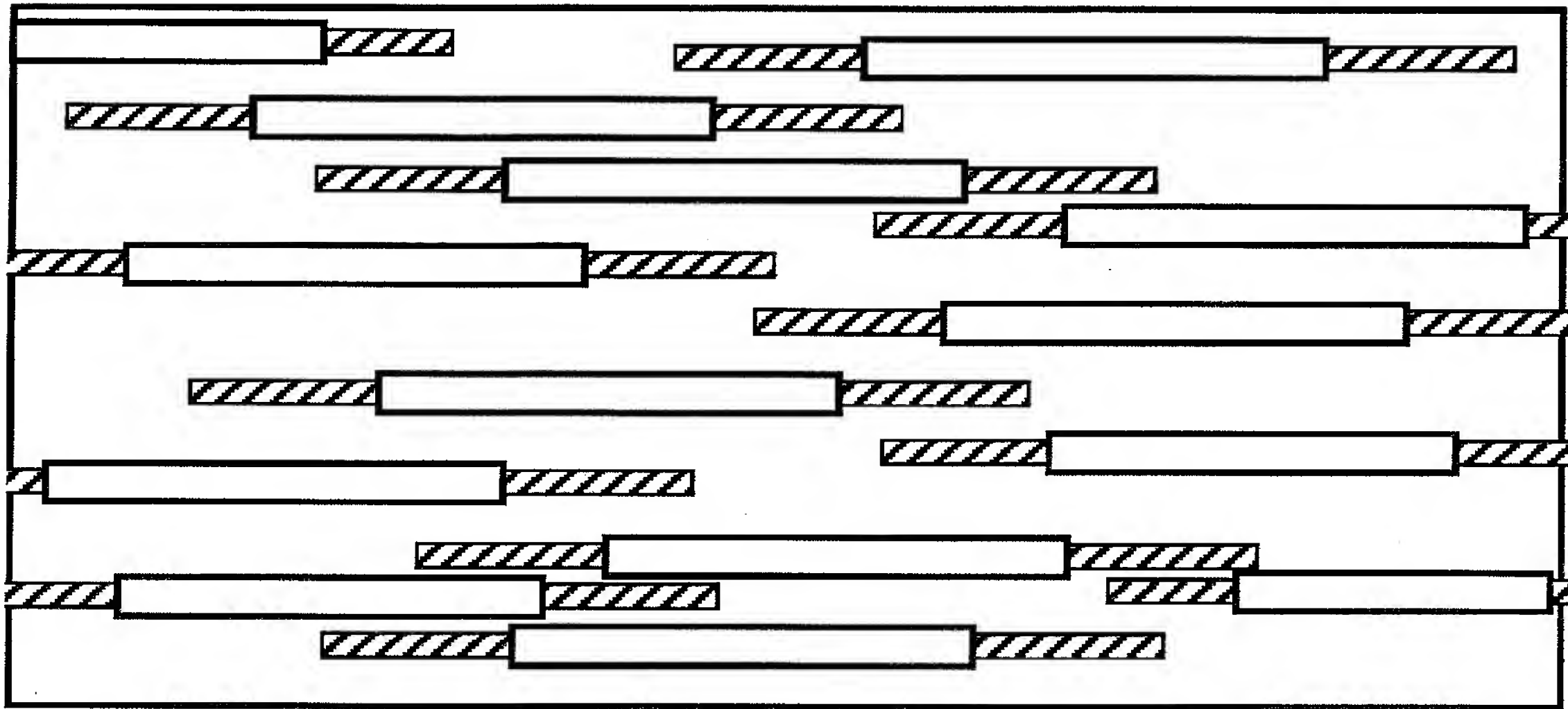
【図 6】



【図 7】

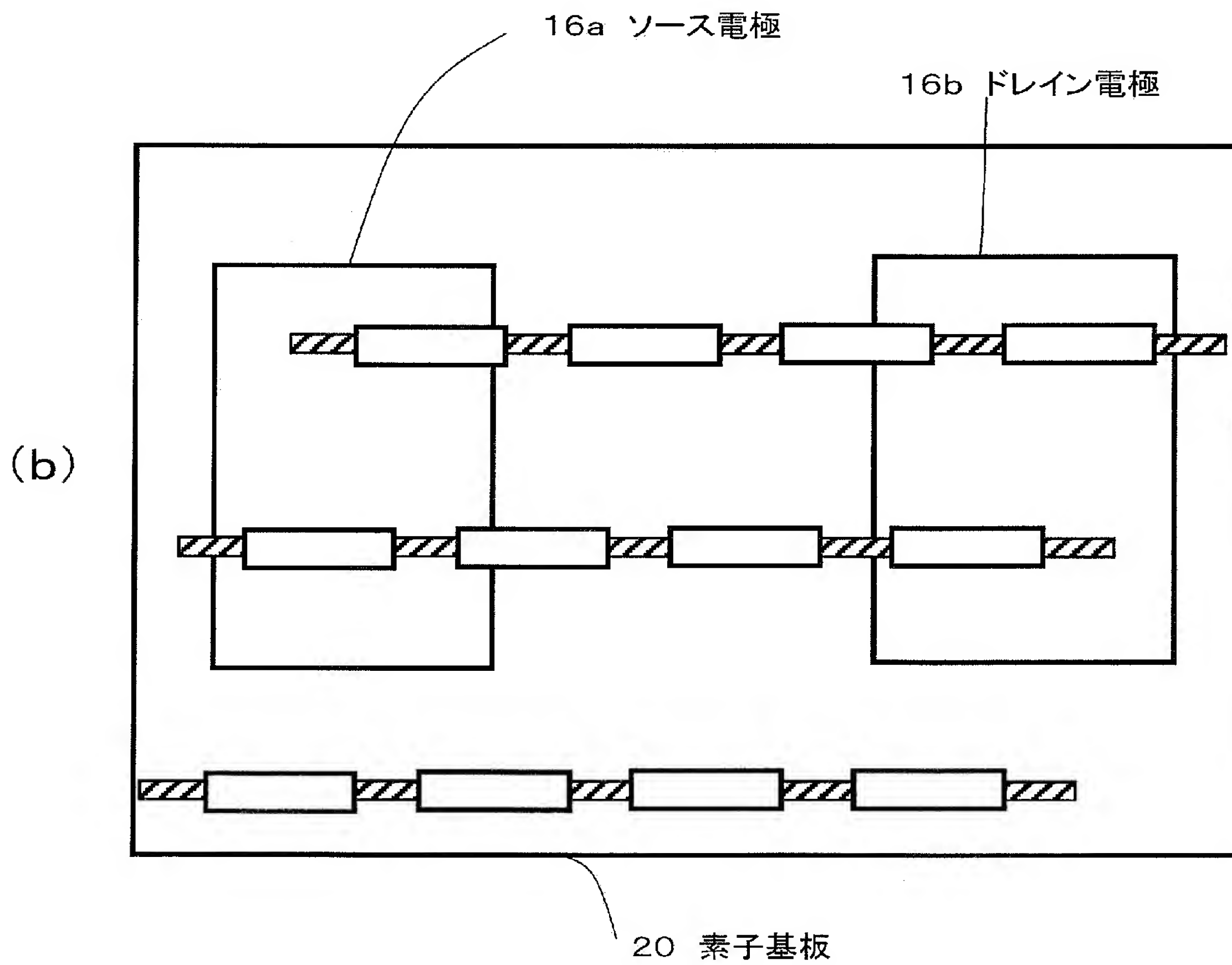
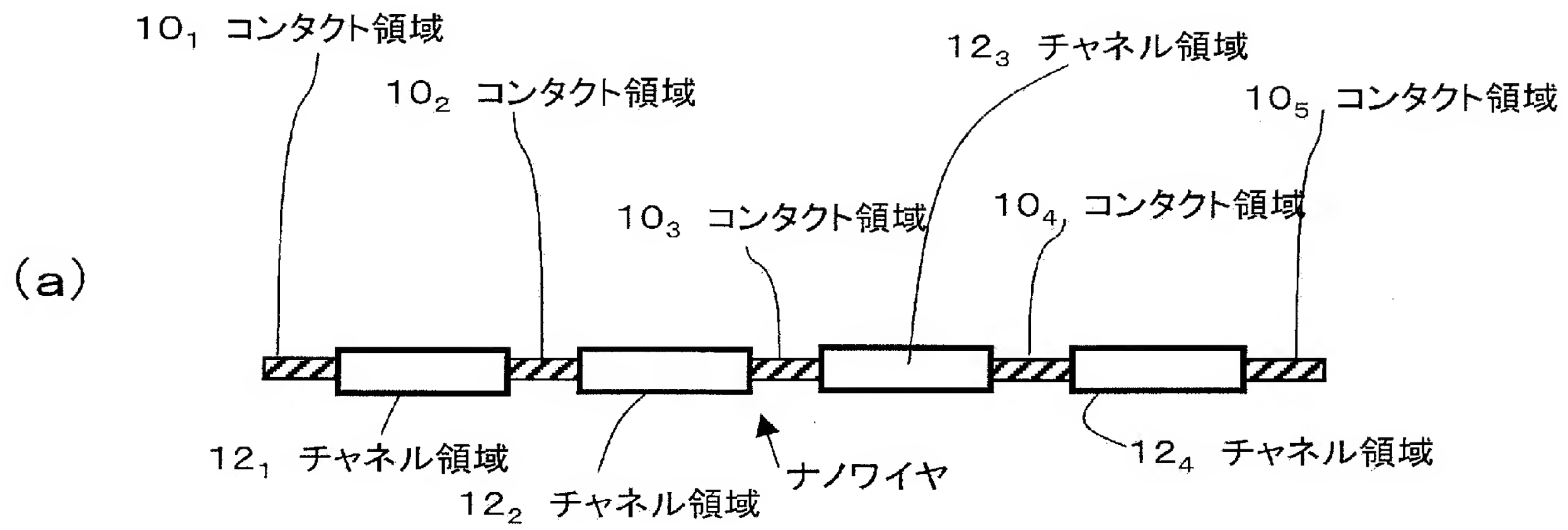


【 図 8 】

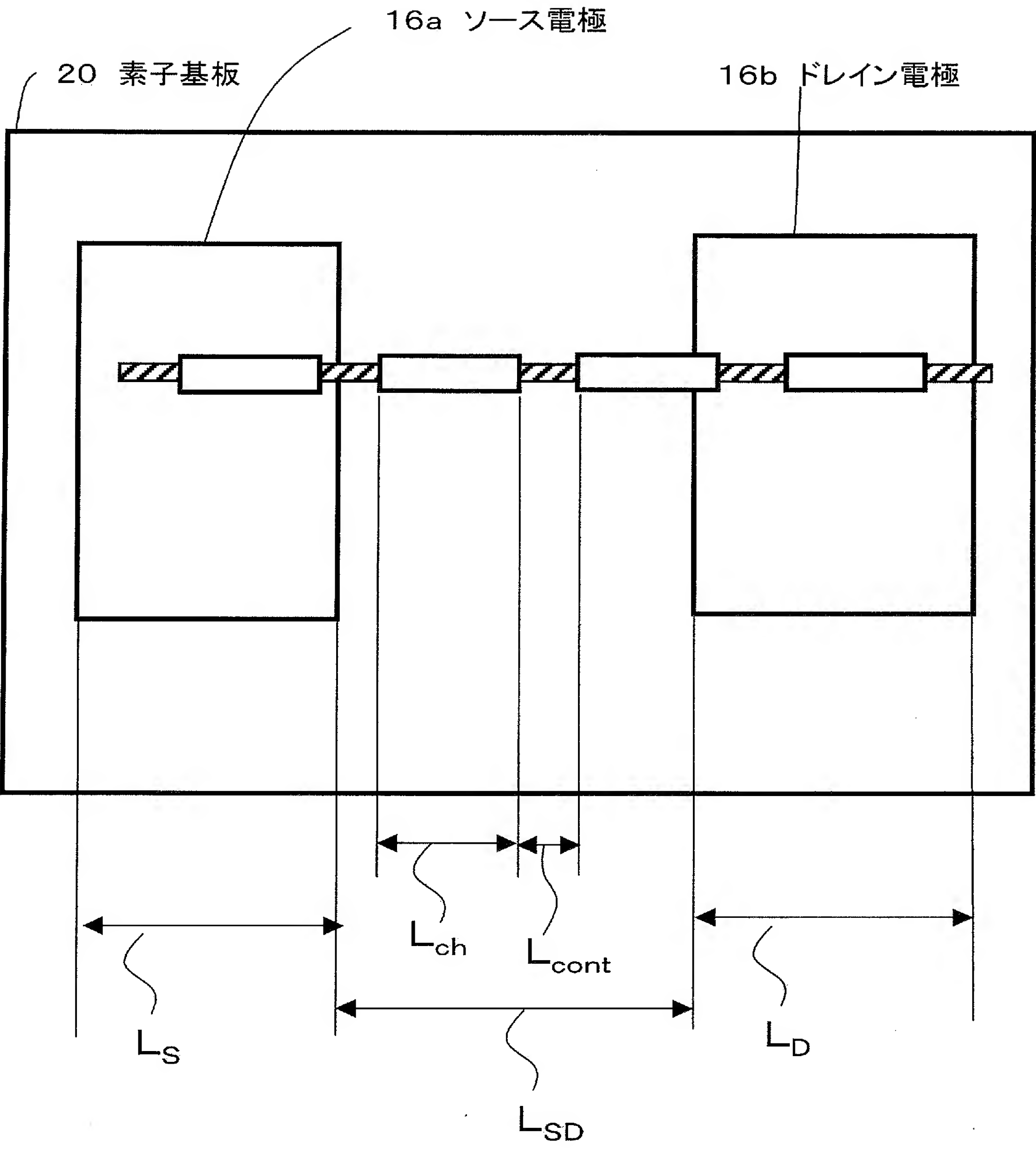


20 素子基板

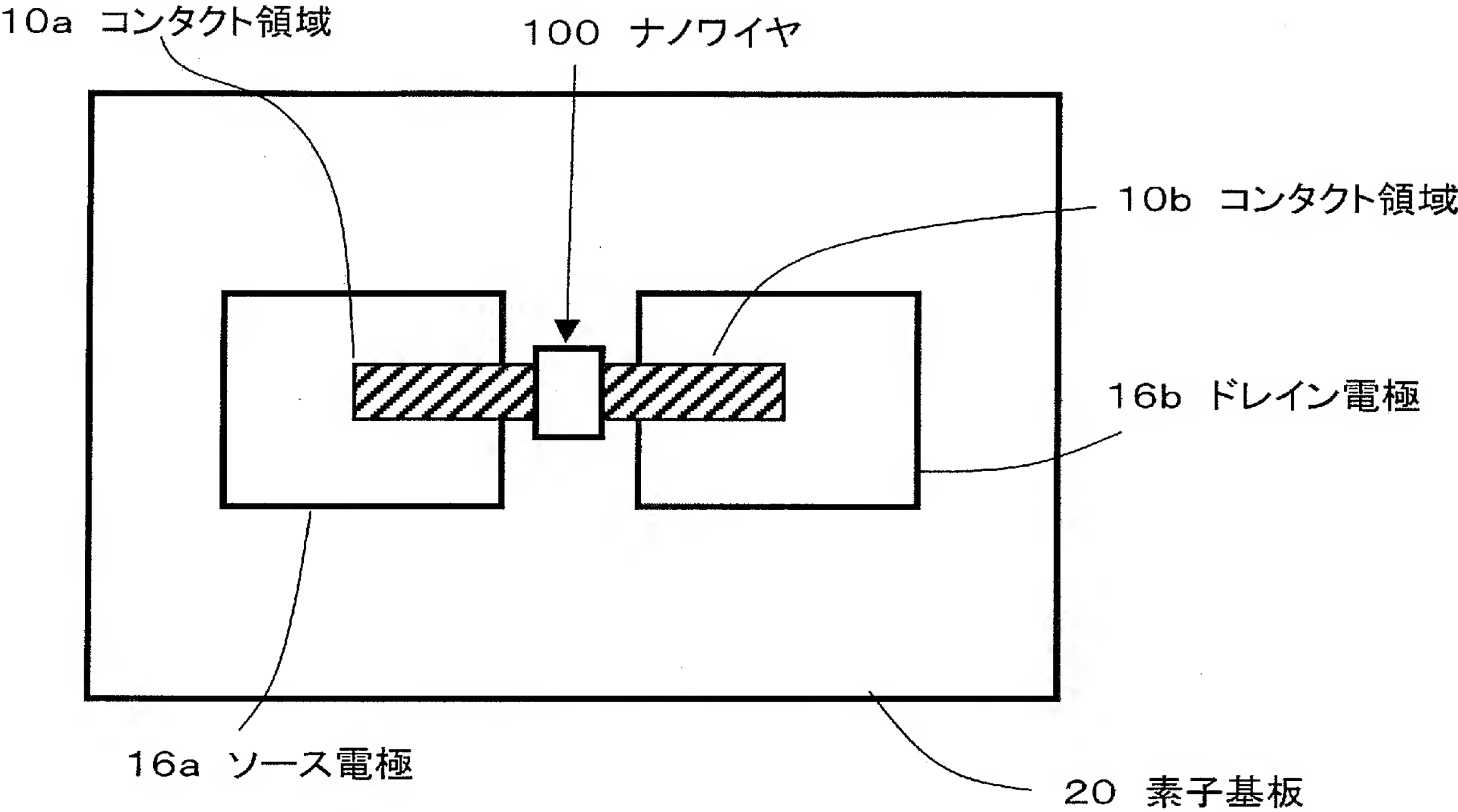
【図 9】



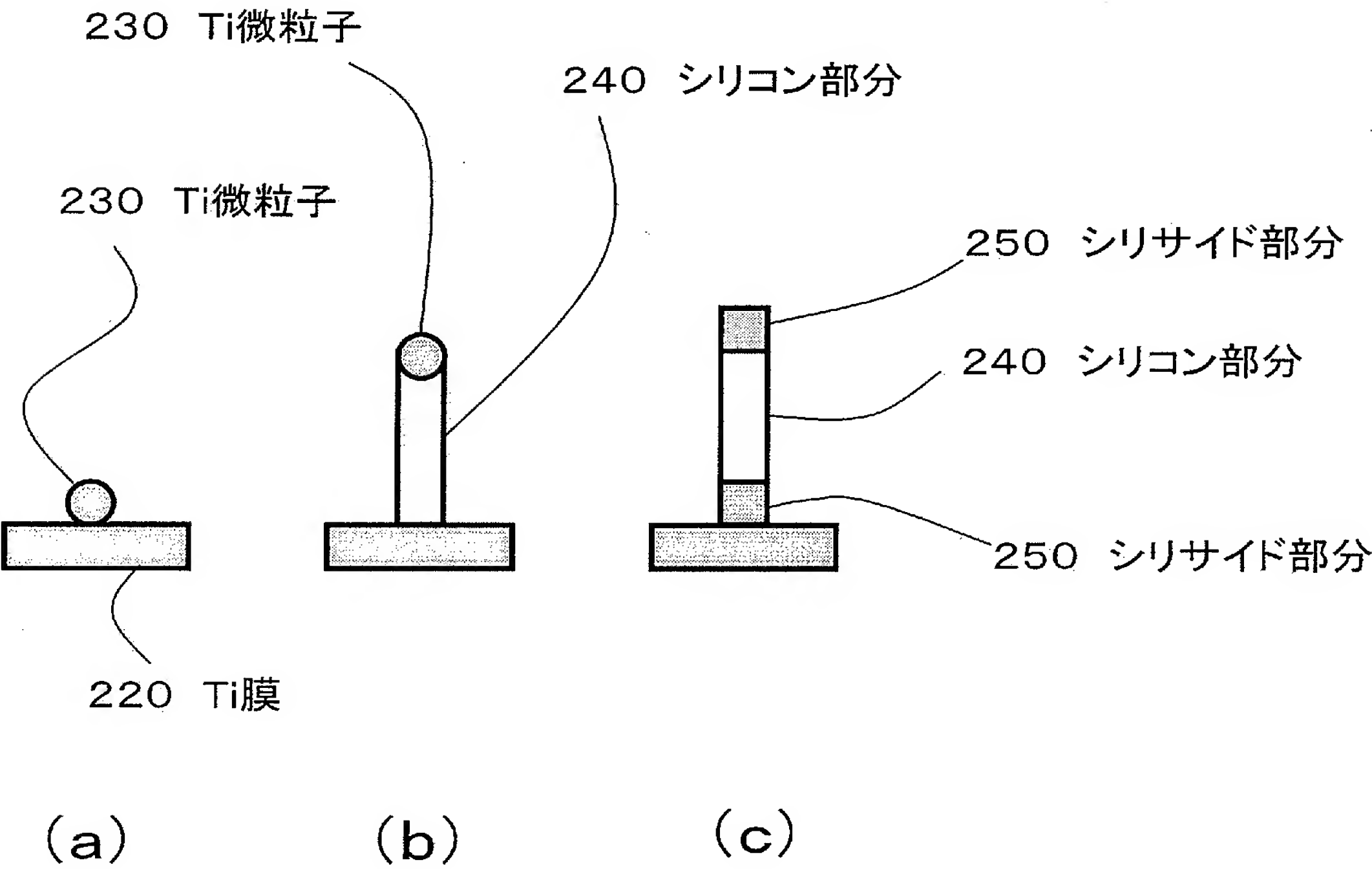
【図 1 0】



【図 1 1】



【図 1 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ナノワイヤを備える電子素子をプラスチック基板などの素子基板上に形成する。

【解決手段】 本発明のナノワイヤ（１００）は、複数のコンタクト領域（１０ａ、１０ｂ）と、複数のコンタク領域（１０ａ、１０ｂ）に接続された少なくとも１つのチャネル領域（１２）とを備える。チャネル領域（１２）は、半導体材料から形成されており、複数のコンタクト領域（１０ａ、１０ｂ）の各々は、半導体材料とは異なる材料から形成された導電部分を少なくとも表面に有している。

【選択図】 図１

出願人履歴

0 0 0 0 0 5 8 2 1

19900828

新規登録

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地

松下電器産業株式会社